

FUNDAMENTAL OF

DENTAL MATERIALS

1

ทันตวัสดุศาสตร์ พื้นฐาน



ตุลย์ ศรีอัมพร

ข้อมูลทางบรรณานุกรมของหอสมุดแห่งชาติ

ตุลย์ ศรีอัมพร.

ทันตวัสดุศาสตร์ พื้นฐาน 1 = Fundamental of Dental Materials 1.- กรุงเทพฯ : สำนักพิมพ์จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย, 2564.

160 หน้า

1. ทันตวัสดุ. | ชื่อเรื่อง.

617.695

ISBN 978-616-577-637-0

สงวนลิขสิทธิ์ตามพระราชบัญญัติลิขสิทธิ์ (ฉบับเพิ่มเติม) พ.ศ. 2559

ห้ามการลอกเลียนแบบไม่ว่าส่วนใดส่วนหนึ่งของหนังสือเล่มนี้ รวมทั้งการจัดเก็บถ่ายทอด ไม่ว่ารูปแบบหรือวิธีการใดๆ ด้วยกระบวนการทางอิเล็กทรอนิกส์ การถ่ายภาพ การบันทึก หรือวิธีการอื่นใด โดยไม่ได้รับอนุญาตเป็นลายลักษณ์อักษร

พิมพ์ครั้งที่ 1 พ.ศ. 2564 จำนวน 1,000 เล่ม

พิมพ์ครั้งที่ 2 พ.ศ. 2564 จำนวน 400 เล่ม

พิมพ์ครั้งที่ 3 พ.ศ. 2564 จำนวน 1,000 เล่ม

พิมพ์ครั้งที่ 4 พ.ศ. 2565 จำนวน 1,000 เล่ม

จำนวนหน้า 160 หน้า

ราคา 450 บาท

จัดทำโดย รศ.ทพ.ดร.ตุลย์ ศรีอัมพร

23/141 ซอยอินทามระ 2 ถนนสุขุมวิทวินิจัย

แขวงสามเสนใน เขตพญาไท กรุงเทพฯ 10400

Facebook: Tool Sriamporn

Facebook Fan page: Prosthvengers

E-mail: tunster14@hotmail.com

ออกแบบปก ทพ.ชวภัทร จานุกิจ

พิมพ์ที่ สำนักพิมพ์จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

ถนนพญาไท แขวงวังใหม่ เขตปทุมวัน

กรุงเทพฯ 10330

โทร. 0-2218-3562-3 โทรสาร 0-2218-3547

www.cupress.chula.ac.th

คำนำ

ทันตวัสดุศาสตร์ เป็นวิชาที่ศึกษาเกี่ยวกับความรู้พื้นฐานทางโครงสร้างของวัสดุทางทันตกรรม รวมถึงสมบัติทางกายภาพและทางกล ตลอดจนข้อบ่งใช้และการนำวัสดุทางทันตกรรมไปใช้งาน ซึ่งทันตวัสดุศาสตร์เป็นรายวิชาพื้นฐานที่สำคัญของนิสิตหรือนักศึกษาระดับปริญญาบัณฑิต และระดับหลังปริญญา เนื่องจากทันตวัสดุศาสตร์มีความสัมพันธ์กับทุกสาขาของงานทันตกรรม โดยตำราทันตวัสดุศาสตร์พื้นฐาน 1 ได้รวบรวมความรู้เบื้องต้นด้านวัสดุทันตกรรม เหมาะสำหรับนิสิต นักศึกษาทันตแพทย์ ตลอดจนทันตแพทย์ผู้ที่มีความสนใจในเรื่องวัสดุทันตกรรม เพื่อศึกษาหาความรู้ และเป็นแนวทางในการเลือกใช้วัสดุได้อย่างเหมาะสม ซึ่งจะนำไปสู่การดูแลรักษาผู้ป่วยด้านทันตกรรมได้อย่างถูกต้องและเกิดประสิทธิภาพสูงสุด ผู้เขียนได้ใช้ตำราเล่มนี้เพื่อประกอบการสอนในรายวิชาทันตวัสดุศาสตร์พื้นฐาน สำหรับนักศึกษาทันตแพทย์ชั้นปีที่ 3 ก่อนขึ้นในระดับชั้นคลินิก โดยตำราเล่มนี้ประกอบไปด้วย บทนำสู่พื้นฐานของวัสดุศาสตร์และวัสดุทันตกรรม สมบัติพื้นฐานของวัสดุทันตกรรม โลหะและโลหะผสมทางทันตกรรม พื้นฐานของวิทยาศาสตร์พอลิเมอร์ และเซรามิกเบื้องต้นทางทันตกรรม โดยผู้เขียนได้รวบรวมความรู้จากบทความวิชาการ หนังสือ รวมถึงประสบการณ์การทำงาน งานวิจัย การสอน ความรู้จากงานประชุมวิชาการทั้งระดับชาติและนานาชาติ เพื่อเขียนเป็นตำราภาษาไทยด้วยภาษาที่เรียบง่าย รูปประกอบภายในตำราเล่มนี้ทุกรูปผู้เขียนเป็นผู้สร้างใหม่ขึ้นเองทั้งสิ้น ซึ่งผู้เขียนคาดหวังว่าตำราเล่มนี้จะมีส่วนช่วยให้ผู้อ่านได้รับความรู้และเกิดความเข้าใจอย่างถูกต้องเกี่ยวกับทันตวัสดุ และหากตำราเล่มนี้มีข้อผิดพลาดประการใดผู้เขียนขอน้อมรับเพื่อนำมาปรับปรุงและพัฒนาตำราเล่มนี้ให้ดียิ่งขึ้นต่อไป

ศุภชัย ศรีอัมพร

กิตติกรรมประกาศ

ตำราเล่มนี้เกิดขึ้นได้ ผู้เขียนขอขอบพระคุณครูบาอาจารย์ทุกท่านที่ได้สั่งสอนข้าพเจ้ามา ตั้งแต่ในอดีตจนถึงปัจจุบัน ที่ไม่สามารถกล่าววามได้ทั้งหมด ทุกท่านประสิทธิ์ประสาทวิชาความรู้ ดูแล บ่มเพาะ ให้ข้าพเจ้ามาเป็นหมอ และมาเป็นครู มาเป็นผู้ถ่ายทอดวิชาความรู้แก่ลูกศิษย์เช่นเดียวกับที่ทุก ๆ ท่านสั่งสอนและดูแลข้าพเจ้ามาเป็นอย่างดี

ผู้เขียนขอขอบพระคุณ ศ.ทพญ.ดร. สมพร สวัสดิ์สรรพ อาจารย์ผู้ให้คำแนะนำ ให้คำปรึกษา ผู้เป็นแรงบันดาลใจ ในการสอนและการสร้างตำรา รวมถึงเป็นผู้จุดประกายความคิดเพื่อใช้ในการพัฒนาตนเองเสมอ

ขอขอบพระคุณ รศ.ทพ.ดร.นิยม อารังค่อนันต์สกุล อาจารย์เป็นผู้ที่ให้คำปรึกษาในทุก ๆ เรื่อง เป็นต้นแบบ ของครูที่ดีให้กับข้าพเจ้า ให้กำลังใจ เป็นแรงบันดาลใจในการสอน การเขียนตำรา และการพัฒนาตนเองเสมอ ตำราเล่มนี้สำเร็จได้เพราะความช่วยเหลือจากอาจารย์เป็นผู้ชี้นำ

ขอขอบคุณ ดร.พรเพ็ญ ศิริดำรง ที่สละเวลาอ่านทบทวนและตรวจสอบความเข้าใจในตำราเล่มนี้

ขอบคุณนิสิต นักศึกษา ทุกคนที่เกี่ยวข้อง ที่เป็นกำลังใจ ให้ความช่วยเหลือในการเขียนตำราเล่มนี้ รวมถึงลูกศิษย์ที่นำรักทุกคนที่ตั้งใจศึกษาหาความรู้ ขยัน กตัญญู รู้จักหน้าที่ของตนเอง และพัฒนาตนเองอยู่เสมอ ซึ่งสิ่งเหล่านี้ล้วนเป็นพลัง ที่ช่วยทำให้คุณครูหลายท่าน ยังคงยึดอาชีพครูสอนหนังสืออยู่

ขอขอบพระคุณ คุณครูบุษบา ศรีอัมพร ผู้ซึ่งเป็นแม่และเป็นครูคนแรกของข้าพเจ้า เป็นผู้ให้กำลังใจ เป็นผู้ที่ยกย่องให้คำปรึกษาในทุก ๆ เรื่อง อยากบอกว่ารักแม่เสมอ ขอขอบคุณทพญ.วิไลดา ไทยเจริญพร และด.ญ.มาริน ศรีอัมพร ภรรยาและลูกสาวที่สนับสนุนในการเขียนตำราและเป็นกำลังใจให้ข้าพเจ้ามาโดยตลอด

สุดท้ายผู้เขียนขอขอบคุณผู้อ่านทุกท่าน ที่รักและหลงเสน่ห์ ในวิชาทันตวัสดุศาสตร์ ขอขอบคุณเป็นอย่างสูง

ตุลย์ ศรีอัมพร

สารบัญ

บทที่ 1 บทนำสู่พื้นฐานของวัสดุศาสตร์และวัสดุทันตกรรม	1
วัสดุและประเภทของวัสดุ	1
โครงสร้างของอะตอม	2
พันธะอะตอม	4
พลังงานพันธะ	9
พื้นฐานการเรียงตัวของอะตอมของวัสดุของแข็ง	9
สารและการจำแนกประเภทของสารตามเนื้อของสาร	12
วัสดุทันตกรรม	15
พอลิเมอร์	15
เซรามิก	17
โลหะ	18
คอมโพสิต	19
วัสดุทางทันตกรรมในรูปแบบอื่น ๆ	20
บทที่ 2 สมบัติพื้นฐานของวัสดุทันตกรรม	27
สมบัติเชิงกล	27
ความเค้น	27
ความเครียด	28
ความสัมพันธ์ระหว่างความเค้น และความเครียด	29
ความยืดหยุ่น	31
การทนความเค้น หรือความทนทาน	31
การคืบตัว	32
สภาพดึงยึดได้และสภาพตีให้แผ่ได้	32
ความเปราะ	32
อัตราส่วนปัวซอง	33
ความแข็งผิว	34
สมบัติเชิงกายภาพ	36
รีโอโลยี หรือ วิทยาศาสตร์การไหล หรือกระแสวิทยา	36
สมบัติทางความร้อนของวัสดุ	42
มุมสัมผัส	44
สี	47
บทที่ 3 โลหะและโลหะผสมในทางทันตกรรม	55
ธาตุโลหะและโลหะผสมทางทันตกรรม	56
โลหะมีสกุล	56
โลหะไร้สกุล หรือ โลหะพื้นฐาน	58

สมบัติทั่วไปบางประการของโลหะผสมทางทันตกรรม	61
การแบ่งชนิดของโลหะผสมทางทันตกรรม	63
ตัวอย่างชนิดของโลหะผสมในงานทันตกรรม	66
ไทเทเนียมบริสุทธิ์ทางการค้าและโลหะผสมไทเทเนียม	69
การขึ้นรูปชิ้นงานโลหะภายใต้สภาวะอุณหภูมิต่าง ๆ	72
การเลือกโลหะในงานทันตกรรมบูรณะ	74
ค่านิยมพื้นฐานของโลหะทางทันตกรรม	76
บทที่ 4 พื้นฐานของวิทยาศาสตร์พอลิเมอร์	79
โครงสร้างพื้นฐานของพอลิเมอร์	80
การจัดเรียงตัวของสายโซ่พอลิเมอร์	81
สเตอริโอเคมี	83
การแบ่งชนิดของพอลิเมอร์	85
ปฏิกิริยาพอลิเมอร์ไรเซชันหรือปฏิกิริยาการสร้างพอลิเมอร์	86
สารเติมแต่งพอลิเมอร์	90
ปริมาณการเกิดพอลิเมอร์	94
ปริมาณการเปลี่ยนจากพันธะคู่เป็นพันธะเดี่ยว	95
น้ำหนักโมเลกุลของพอลิเมอร์	95
วัสดุฐานฟันเทียมชนิดพอลิเมอร์	96
ประวัติของวัสดุฐานฟันเทียม	97
สมบัติของวัสดุที่ใช้ทำฐานฟันเทียม	98
เรซิน อะคริลิก	98
ฐานฟันเทียมที่ทำจากเรซิน อะคริลิก	99
อันตรกิริยาระหว่างพอลิเมอร์และมอนอเมอร์	104
วิธีการบ่มอะคริลิกเรซิน ชนิดบ่มด้วยความร้อน	106
บทที่ 5 เซรามิกเบื้องต้นทางทันตกรรม	111
โครงสร้างของเซรามิก	112
การจำแนกชนิดและการใช้งานเซรามิกในทางทันตกรรม	113
จำแนกเซรามิกทางทันตกรรมตามส่วนประกอบหลัก	113
จำแนกเซรามิกทางทันตกรรมตามเทคนิคการขึ้นรูป	121
พื้นฐานการปรับสภาพผิวสำหรับเซรามิกทางทันตกรรม	123
การปรับสภาพผิวเซรามิกกลุ่มที่ซิลิกาเป็นองค์ประกอบหลัก	123
การปรับสภาพผิวเซรามิกกลุ่มเซอร์โคเนีย	129
ดัชนี	139
Index	143

สารบัญตาราง

ตารางที่ 1.1 แสดงมวล ประจุไฟฟ้าของอนุภาคนิวตรอน โปรตอน และอิเล็กตรอน	3
ตารางที่ 1.2 รูปแบบโครงสร้างผลึก 7 ชนิดหลัก ลักษณะความยาวแกน และมุม	10
ตารางที่ 1.3 ความแตกต่างของ สารละลาย คอลลอยด์ และ สารแขวนลอย	14
ตารางที่ 1.4 คอลลอยด์ชนิดต่าง ๆ	14
ตารางที่ 2.1 แสดงมาตราความแข็งผิวของแร่ชนิดต่าง ๆ ในรูปแบบความแข็งผิวของโมส์	34
ตารางที่ 3.1 แสดงสมบัติกายภาพของธาตุโลหะผสมทางทันตกรรม	60
ตารางที่ 3.2 แสดงการแบ่งโลหะผสมตามสมบัติทางกล	64
ตารางที่ 3.3 แสดงการแบ่งชนิดโลหะผสมโดยปริมาณโลหะมีสกุล โดยสมาคมทันตแพทย์อเมริกันในปี ค.ศ.1984	65
ตารางที่ 3.4 แสดงการแบ่งชนิดโลหะผสมโดยปริมาณโลหะมีสกุล โดยสมาคมทันตแพทย์อเมริกันในปี ค.ศ. 2003	65
ตารางที่ 3.5 แสดงการแบ่งโลหะผสมตามการใช้งานทางทันตกรรม	66
ตารางที่ 3.6 แสดงประเภทของโลหะไทเทเนียมบริสุทธิ์ตามสิ่งเจือปนโดย ASTM F67 และสมบัติเชิงกายภาพ	70
ตารางที่ 3.7 แสดงสมบัติของโลหะผสมไทเทเนียมในงานทันตกรรมประดิษฐ์	71
ตารางที่ 3.8 แสดงสมบัติเปรียบเทียบระหว่างโลหะผสมมีสกุล โลหะผสมโคบอลต์-โครเมียม โลหะผสมนิกเกิล-โครเมียม-เบริลเลียม และโลหะไทเทเนียมบริสุทธิ์ทางการค้า	75
ตารางที่ 4.1 แสดงชนิดและตัวอย่างของสารฟิลเลอร์	90
ตารางที่ 4.2 แสดงชนิดของเรซินคอมโพสิตและขนาดของฟิลเลอร์	91
ตารางที่ 4.3 สรุปส่วนประกอบหลักของส่วนผงและส่วนเหลวของวัสดุอะคริลิกชนิดบ่มตัวด้วยตัวเอง	104
ตารางที่ 5.1 แสดงตัวอย่างชนิดของวัสดุ ระบบ วิธีการขึ้นรูป ชื่อทางการค้าของเซรามิกชนิดต่าง ๆ ที่ใช้ในงานทันตกรรม	122
ตารางที่ 5.2 แสดงความเข้มข้นของกรดไฮโดรฟลูออริก และเวลาการทากรดบนผิวของกลาสส์เซรามิกชนิดต่าง ๆ	124

สารบัญรูป

รูปที่ 1.1	แสดงการแบ่งประเภทของวัสดุ ซึ่งประกอบด้วย โลหะ พอลิเมอร์ เซรามิก และคอมโพสิต	2
รูปที่ 1.2	แสดงแบบจำลองโครงสร้างของอะตอม ซึ่งประกอบด้วยนิวตรอน โปรตอน และอิเล็กตรอน	3
รูปที่ 1.3	แสดงแบบจำลองการเกิดพันธะโคเวเลนต์ของ (ก) น้ำ (ข) แอมโมเนีย (ค) มีเทน และ (ง) การเกิดปฏิกิริยาพอลิเมอร์เซชันของเอทิลเมทาคริเลตมอนอเมอร์ เป็นพอลิเอทิลเมทาคริเลต	5
รูปที่ 1.4	แสดงแบบจำลองการเกิดพันธะไอออนิกของโซเดียมคลอไรด์	6
รูปที่ 1.5	แสดงแบบจำลองของพันธะโลหะ	7
รูปที่ 1.6	แสดงแบบจำลองของพันธะไฮโดรเจนระหว่างโมเลกุลของน้ำ	8
รูปที่ 1.7	แสดงแบบจำลองของแรงแวนเดอร์วาลส์	8
รูปที่ 1.8	(ก) แสดงแกน x, y, z ซึ่งมีความยาวของแต่ละแกนคือ a, b, c ตามลำดับ และมุม α , β และ γ ในหนึ่งหน่วยยูนิตเซลล์ และ (ข) แสดงแบบจำลองโครงสร้างผลึกทั้ง 7 รูปแบบได้แก่ ไทรคลินิก โมโนคลินิก ออร์โธโรมบิก เททราโกนอล รอมโบฮีดรอล เฮกซะโกนอล และ คิวบิก	11
รูปที่ 1.9	แสดง (ก) แบบจำลองของสารคอลลอยด์ที่ประกอบด้วย 2 เฟสคือ เฟสกระจายคือส่วนอนุภาคที่กระจายตัวอยู่ทั่วไป และเฟสต่อเนื่องคือส่วนที่เป็นเนื้อหลักของสาร และ (ข) แสดงตัวอย่างของปรากฏการณ์ทินดอลล์ ที่เกิดขึ้นในสารคอลลอยด์ โดยจะเห็นลำแสงสีแดงในแก้วทางด้านขวามือ ในขณะที่สารละลายในแก้วทางด้านซ้ายมือ ไม่สามารถพบปรากฏการณ์ทินดอลล์ได้	13
รูปที่ 1.10	พอลิเมอร์และสูตรโครงสร้างทางเคมีของพอลิเมอร์ที่ใช้งานทางทันตกรรม (ก) แผ่นยางกันน้ำลาย (ข) ถูมือยาง (ค) แพ่งยางกัตตาเปอร์ชาสำหรับอุดคลองรากฟัน (ง) ฟันเทียมฐานอะคริลิกและซี่ฟันเทียมสำเร็จรูปชนิดอะคริลิกซึ่งผลิตมาจากพอลิเมทิลเมทาคริเลต และ (จ) สูตรโครงสร้างเคมีของพอลิเมทิลเมทาคริเลต	16
รูปที่ 1.11	แสดงตัวอย่างของแบบจำลอง (ก) ครอบฟันชนิดโลหะเคลือบพอร์ซเลน (ข) ครอบฟันเซรามิกล้วน ชนิดมีแกนเซรามิกที่มีความแข็งแรงอยู่ด้านใน (ค) ครอบฟันเซรามิกล้วนชนิดเซรามิกชั้นเดียว (ง) ตัวอย่างของครอบฟันชนิดเซรามิกชั้นเดียวจากวัสดุกลาสส์เซรามิกที่เสริมแรงด้วยลิเทียมไดซิลิเกต และ (จ) ตัวอย่างของครอบฟันชนิดเซรามิกชั้นเดียวจากวัสดุเซอร์โคเนีย	17
รูปที่ 1.12	แสดงรูป (ก) โครงโลหะสำหรับฟันเทียมบางส่วนถอดได้ และ (ข) ครอบฟันที่ทำจากโลหะมีสกุล	18
รูปที่ 1.13	แสดง (ก) แบบจำลองวิภาคหรือเฟสของวัสดุเรซินคอมโพสิตที่ใช้ในงานทันตกรรมบูรณะ (ข) แบบจำลองเฟสของเดือยฟันสำเร็จรูปชนิดคอมโพสิตเสริมเส้นใย และ (ค) ภาพถ่ายด้วยกล้องจุลทรรศน์อิเล็กตรอนชนิดส่องกราดของเดือยฟันสำเร็จรูปชนิดคอมโพสิตเสริมเส้นใย ที่กำลังขยาย 500 เท่า แสดงเส้นใยเสริมแรงล้อมรอบโดยเรซิน	19
รูปที่ 1.14	กลาสส์ไอโอโนเมอร์ซีเมนต์ที่ผสมสารเทอร์โมโครมิก	21
รูปที่ 1.15	แสดงการผสมและรอยพิมพ์ของวัสดุพิมพ์แบบชนิดโครมาติกอัลจินต	22
รูปที่ 2.1	แสดงลักษณะแรงภายนอกที่มากระทำต่อวัสดุ ในรูปแบบต่าง ๆ โดยลูกศรคือ ทิศทางของแรงที่มากระทำ	28

รูปที่ 2.2	แสดงกราฟระหว่างความเค้นและความเครียด ซึ่งแสดงช่วงที่เป็นความเครียดแบบคืนรูปและความเครียดแบบคงรูป	29
รูปที่ 2.3	แสดงกราฟเส้นโค้งระหว่างความเค้นกับความเครียด	30
รูปที่ 2.4	แสดงค่ามอดุลัสของสภาพยืดหยุ่นของเคลือบฟัน เนื้อฟัน และเดือยฟันสำเร็จรูปชนิดคอมโพสิตเสริมเส้นใย	30
รูปที่ 2.5	แสดงพื้นที่ใต้กราฟเส้นโค้งระหว่างความเค้นกับความเครียด ที่ระบุค่า (ก) ความยืดหยุ่น และ (ข) ความทนทาน	32
รูปที่ 2.6	แสดงเส้นโค้งระหว่างความเค้นกับความเครียดของวัสดุที่มีความเปราะ และวัสดุที่มีสภาพดัดยัดได้	33
รูปที่ 2.7	แสดงการเปลี่ยนแปลงระหว่างความเครียดแนวขวางกับความเครียดตามยาวของวัสดุ	33
รูปที่ 2.8	ภาพวาดของไหลที่บรรจุอยู่ระหว่างแผ่นเรียบ 2 แผ่น และเมื่อมีแรงภายนอกมาทำให้แผ่นด้านบนเคลื่อนที่ให้ความเร็วเท่ากับ v	37
รูปที่ 2.9	ภาพวาดแสดงลักษณะเมื่อวัสดุได้รับแรงดึง ค่าความเค้นถึงมีค่าเท่ากับแรงหารด้วยพื้นที่หน้าตัดที่ตั้งฉากกับแนวแรง	37
รูปที่ 2.10	แสดงภาพวาดของวัสดุเมื่อได้รับแรงเฉือน ค่าความเค้นเฉือนมีค่าเท่ากับแรงหารด้วยพื้นที่หน้าตัดที่ขนานกับแนวแรง ค่าความเครียดเฉือนมีค่าเท่ากับระยะทางที่ผิวด้านบนเคลื่อนที่ไป (Δl) หารด้วยความสูงของแท่งวัสดุ (h)	37
รูปที่ 2.11	ภาพวาดแบบจำลองของไหลที่อยู่ระหว่างแผ่น 2 แผ่น โดยแผ่นล่างตรึงอยู่กับที่ ขณะที่แผ่นด้านบนมีการเคลื่อนที่ไปตามลูกศร และของไหลที่บรรจุอยู่นั้น ถูกแบ่งเป็นชั้น และมีการเคลื่อนที่เป็นชั้น ๆ	38
รูปที่ 2.12	ภาพวาดแสดงลักษณะอัตราเฉือนเป็นอนุพันธ์ (derivative) มีค่าเท่ากับอัตราความแตกต่างของความเร็ว (dv) ระหว่างชั้น ที่ถูกเฉือนผ่านความหนา (dh)	39
รูปที่ 2.13	แสดงผังการแบ่งของไหลตามพฤติกรรมการไหล	40
รูปที่ 2.14	กราฟของของไหลนิวโทเนียน (ก) พลัฏธ์ระหว่างความเค้นเฉือนและอัตราเฉือน (ข) พลัฏธ์ระหว่างความหนืดและอัตราเฉือน	40
รูปที่ 2.15	กราฟของของไหลนอนนิวโทเนียน (ก) พลัฏธ์ระหว่างความเค้นเฉือนและอัตราเฉือน (ข) พลัฏธ์ระหว่างความหนืดและอัตราเฉือน	41
รูปที่ 2.16	กราฟของของไหลนอนนิวโทเนียน ที่พลัฏธ์ระหว่างความหนืดและเวลาเมื่ออัตราเฉือนคงที่	41
รูปที่ 2.17	แสดง (ก) กราฟของของไหลแบบทีโซทรอปิก และรีโอเพกติกเทียบกับนิวโทเนียน (ข) กราฟระหว่างความหนืดและเวลาของของไหลประเภทซูโดพลาสติกและทีโซทรอปิก เมื่อให้อัตราเฉือนและเอาอัตราเฉือนออก	44
รูปที่ 2.18	รูปวาดแสดงลักษณะการเปียกผิวของน้ำบนพื้นผิวชนิดต่าง ๆ	44

รูปที่ 2.19	การวัดค่ามุมสัมผัสด้วยวิธีวิลฮิมายเพลด	46
รูปที่ 2.20	แสดงการสะท้อนของแสง ซึ่งจะทำให้เกิดรังสีตกกระทบ และรังสีสะท้อน	47
รูปที่ 2.21	แสดงลักษณะการกระเจิงแสง	48
รูปที่ 2.22	แสดงการส่งผ่านของแสงในวัสดุแต่ละชนิด ได้แก่ วัสดุโปร่งใส วัสดุโปร่งแสง และ วัสดุทึบแสง	48
รูปที่ 2.23	แถบเลือกสีในระบบ ไวตาคลาสสิก	50
รูปที่ 2.24	แสดงภาพจำลองการเกิดปรากฏการณ์เมทาเมอริซึม เมื่อวัสดุ 2 ชั้นมีสีเหมือนกัน ที่แหล่งกำเนิดแสงหนึ่ง แต่จะมีสีแตกต่างกันเมื่ออยู่ภายใต้แหล่งกำเนิดแสงอื่น	51
รูปที่ 3.1	แสดง (ก) ทองคำสำหรับอุดฟันซึ่งเป็นผลิตภัณฑ์ของ MH และ (ข) แผ่นทองที่ม้วนเป็นแท่ง เพื่อต่อการใช้งาน	55
รูปที่ 3.2	ครอบฟันชนิดโลหะเคลือบพอร์ซเลน	62
รูปที่ 3.3	(ก) ภาพวาดแสดงการผลิตโลหะผสมใช้แรงขึ้นรูปจากโลหะผสมหล่อ และ (ข) ภาพวาดแสดงการดึงเส้นลวดผ่านแม่พิมพ์ดึงขึ้นรูปซึ่งทำให้เกรนของเส้นลวด ที่ผ่านการดึงจะมีขนาดเล็กลงและยาวขึ้น	73
รูปที่ 3.4	แสดงตัวอย่าง (ก) ตะขอลวดรูดของฟันเทียมบางส่วนถอดได้ และ (ข) แสดงลวดโลหะผสมนิกเกิลไทเทเนียมที่ใช้ในงานทันตกรรมจัดฟัน	73
รูปที่ 4.1	แสดงโครงสร้างแบบจำลองของมอนอเมอร์ ไฮโมพอลิเมอร์ และโคพอลิเมอร์	79
รูปที่ 4.2	แสดงแบบจำลองลักษณะของมอนอเมอร์ ไดเมอร์ ไตรเมอร์ เทตราเมอร์ เพนทาเมอร์ โอลิโกเมอร์ และ พอลิเมอร์	80
รูปที่ 4.3	แสดงลักษณะจำลองของโครงสร้างของพอลิเมอร์ชนิด (ก) แบบเส้นตรง (ข) แบบกิ่งก้าน และ (ค) แบบร่างแห	81
รูปที่ 4.4	แสดงแบบจำลองสูตรโครงสร้างทางเคมีของไวนิลมอนอเมอร์และไวนิลพอลิเมอร์	81
รูปที่ 4.5	แสดงแบบจำลองของหัวและหางของมอนอเมอร์	81
รูปที่ 4.6	การเรียงตัวแบบหัวต่อหาง	82
รูปที่ 4.7	การเรียงตัวแบบหัวต่อหัว	82
รูปที่ 4.8	แสดงลักษณะของ (ก) ไอโซแทกติกพอลิเมอร์ (ข) ซินดีโอแทกติกพอลิเมอร์ และ (ค) อะแทกติกพอลิเมอร์	83
รูปที่ 4.9	แสดงสูตรโครงสร้างเคมีของ (ก) สารคีโตน และ (ข) สารแอลดีไฮด์	83
รูปที่ 4.10	แสดงไอโซเมอร์แบบต่าง ๆ ของ C_5H_{12}	84
รูปที่ 4.11	แสดงลักษณะไอโซเมอร์เชิงตำแหน่ง	84
รูปที่ 4.12	แสดงลักษณะไอโซเมอร์เชิงหมู่ฟังก์ชันของ C_2H_6O	84
รูปที่ 4.13	แสดงไอโซเมอร์เรขาคณิตของโครงสร้าง cis-1, 4 polyisoprene และ tran-1, 4 polyisoprene	85
รูปที่ 4.14	แสดงลักษณะจำลองของออปติคอลไอโซเมอร์	85
รูปที่ 4.15	แสดงตัวอย่างมอนอเมอร์ที่สามารถเกิดปฏิกิริยาพอลิเมไรเซชันแบบเติมได้	86

รูปที่ 4.16	แสดงแบบจำลองตัวเริ่มปฏิกิริยา ถูกกระตุ้นโดยตัวกระตุ้น ให้เป็นอนุมูลอิสระได้	87
รูปที่ 4.17	แสดงการแตกตัวเป็นอนุมูลอิสระของเบนโซิลเปอร์ออกไซด์ที่อุณหภูมิประมาณ 65 องศาเซลเซียส	87
รูปที่ 4.18	แสดงโครงสร้างของ (ก) อะโรมาติกเอมีนตติยภูมิ ชนิด N, N dihydroxyethyl-p-toluidine และ (ข) แสดงการแตกตัวเป็นอนุมูลอิสระของเบนโซิลเปอร์ออกไซด์ด้วยอะโรมาติกเอมีนตติยภูมิ	88
รูปที่ 4.19	แสดงโครงสร้างของไดคิโตนและเอมีน ที่สามารถถูกกระตุ้นด้วยแสงสีฟ้าที่มีความยาวคลื่นแสงประมาณ 470 นาโนเมตร แล้วเกิดเป็นอนุมูลอิสระ	88
รูปที่ 4.20	แสดงการกระตุ้นเบนโซอินเมทิลไฮดรอกไซด์ด้วยรังสียูวีแล้วเกิดเป็นอนุมูลอิสระ	89
รูปที่ 4.21	แสดงแบบจำลองของปฏิกิริยาการเกิดในลอน 6,6	90
รูปที่ 4.22	แสดง (ก) ลักษณะแบบจำลองหน้าที่ของสารไซเลน และ (ข) แสดงภาพถ่ายด้วยกล้องจุลทรรศน์อิเล็กตรอนชนิดส่องกราดของวัสดุบุรณะพื้นเรซินคอมโพสิตที่กำลังขยาย 60,000 เท่า พบว่าจะประกอบไปด้วยฟิลเลอร์ที่กระจายตัวอยู่ในเรซินที่ทำหน้าที่เป็นเมทริกซ์	91
รูปที่ 4.23	แสดงสูตรโครงสร้างทางเคมีของเมทิลเมทาคริเลตมอนอเมอร์ บิวทิลเมทาคริเลตมอนอเมอร์ และโคพอลิเมอร์ที่เกิดจากมอนอเมอร์ทั้งสองชนิด	92
รูปที่ 4.24	แสดงโครงสร้างทางเคมีของไดบิวทิล พทาเลต	92
รูปที่ 4.25	แสดงแบบจำลองสารพลาสติกไซเซอร์ที่เติมลงไปแล้วไม่เกิดปฏิกิริยาทางเคมีกับสายโซ่โมเลกุลของพอลิเมอร์ แต่จะแทรกอยู่ระหว่างสายโซ่พอลิเมอร์	93
รูปที่ 4.26	แสดงโครงสร้างการเชื่อมขวางของพอลิเมทิลเมทาคริเลต ด้วยเอทิลีนไกลคอลไดเมทาคริเลตมอนอเมอร์	93
รูปที่ 4.27	แสดงการเกิดวัลคาไนเซชันของยางธรรมชาติ ด้วยสารกำมะถัน	94
รูปที่ 4.28	แสดงสูตรโครงสร้าง (ก) พอลิเทรฟลูออโรเอทิลีน และ (ข) เทรฟลูออโรเอทิลีน มอนอเมอร์	95
รูปที่ 4.29	แสดงโครงสร้างทางเคมีของเอทิลีน กรดอะคริลิก และ กรดเมทาอะคริลิก	98
รูปที่ 4.30	แสดงภาพถ่ายกล้องจุลทรรศน์อิเล็กตรอนชนิดส่องกราด ที่กำลังขยาย 100 เท่าของส่วนผิวนองวัสดุฐานพื้นเทียมอะคริลิกที่บ่มตัวด้วยความร้อน ที่มีส่วนประกอบหลักเป็นเม็ดพอลิเมอร์ชนิดพอลิเมทิลเมทาคริเลต	100
รูปที่ 4.31	แสดงการเกิดพอลิเมอร์ไรเซชันของเมทิลเมทาคริเลตเป็นพอลิเมทิลเมทาคริเลต โดยเริ่มจาก ขั้นตอนกระตุ้น ขั้นตอนการขยายตัว และขั้นตอนสุดท้าย ตามลำดับ	102
รูปที่ 4.32	แสดงลำดับการเกิดอันตรกิริยาระหว่างพอลิเมอร์และมอนอเมอร์ โดย (ก) แสดงส่วนผิวนองและส่วนเหลวของเรซินอะคริลิก เมื่อผสมส่วนผิวนองและส่วนเหลวตามอัตราส่วนที่เหมาะสม สามารถสังเกตด้วยตาเปล่าและ/หรือ สัมผัสได้ ตามขั้นตอนดังนี้(ข) ขั้นตอนคล้ายเม็ดทรายผสมน้ำ (ค) ขั้นตอนเป็นเส้นใยหรือมีความเหนียว (ง) ขั้นตอนโด (จ) ขั้นตอนคล้ายยาง และ (ฉ) ขั้นตอนของแข็ง	106
รูปที่ 5.1	แสดงแบบจำลองโครงสร้างของซิลิกา (ก) การเรียงตัวของโครงสร้างอสัณฐานหรือโครงสร้างแก้ว (ข) การเรียงตัวของโครงสร้างผลึก และ (ค) แสดงการเรียงตัวของอะตอมซิลิกอน 1 อะตอมจะมีอะตอมของออกซิเจน 4 อะตอมล้อมรอบอยู่	112

รูปที่ 5.2	กราฟแสดงการเปลี่ยนแปลงโครงสร้างของซิลิกาในรูปของ ควอตซ์ ไทรติไมต์ และ คริสโตบาไลต์ ตามอุณหภูมิที่เปลี่ยนแปลงไป	113
รูปที่ 5.3	แสดงอัตราส่วนขององค์ประกอบหลักของเฟลด์สปาทิกพอร์ชเลนที่ใช้ในงานอุตสาหกรรม และงานทางทันตกรรม	114
รูปที่ 5.4	แสดงแบบจำลองการพัฒนาการกลาสส์เซรามิกชนิดเสริมความแข็งแรงด้วยลูไซต์ เป็นเซรามิกที่มีการเติมหรือเพิ่มสัดส่วนของผลึกลูไซต์ให้สูงขึ้น เมื่อเทียบกับเซรามิกกลุ่มเฟลด์สปาทิกพอร์ชเลน	116
รูปที่ 5.5	แสดงบลูบล็อท ซึ่งถูกกลึงทำเป็นกรอบฟันซี่ฟันกรามน้อย มีส่วนประกอบหลักเป็นลิเทียมเมทาซิลิเกต ซึ่งสมบัติทางกายภาพจะเปราะและต้านทานการสึกกร่อน	117
รูปที่ 5.6	แสดงภาพถ่ายด้วยกล้องจุลทรรศน์อิเล็กตรอนชนิดส่องกราดของผลึกลิเทียมไดซิลิเกตที่กำลังขยาย 10,000 เท่า ซึ่งมีลักษณะคล้ายกระสวยหรือแท่งเข็มที่เรียงตัวแบบไขว้ประสานกัน	117
รูปที่ 5.7	แสดงภาพถ่ายด้วยกล้องจุลทรรศน์อิเล็กตรอนชนิดส่องกราดของผลึกลิเทียมซิลิเกตชนิดเสริมแรงด้วยเซอร์โคเนีย ที่กำลังขยาย 5,000 เท่า ซึ่งมีลักษณะคล้ายเมล็ดองุ่นหรือเมล็ดข้าวสารหัก ที่มีรูปร่างแบบสั้นป้อม	117
รูปที่ 5.8	แสดงภาพถ่ายด้วยกล้องจุลทรรศน์อิเล็กตรอนชนิดส่องกราดที่กำลังขยาย 10,000 เท่า ของผิวของเซอร์โคเนียที่ผ่านการเผาผนึกแล้ว ซึ่งเป็นเซรามิกประเภทพหุผลึก	119
รูปที่ 5.9	แสดงลักษณะแบบจำลองการเปลี่ยนแปลงโครงสร้างแบบการเปลี่ยนเฟสแบบมาร์เทนซิก หรือเป็นการเปลี่ยนแปลงที่ไม่เกิดการทำลายโครงสร้างของเซอร์โคเนียบริสุทธิ์	119
รูปที่ 5.10	แสดงแบบจำลองการเกิดทรานส์ฟอร์เมชันทัฟเทนิง โดยเมื่อมีแรงมากกระทำที่เซอร์โคเนีย รอยร้าวที่เกิดขึ้นส่งผลให้ โครงสร้างแบบเททราโกนอล (สี่ฟ้า) เปลี่ยนเป็นโครงสร้างแบบโมโนคลินิก (สี่น้ำเงิน) แล้วปริมาตรเพิ่มมากขึ้น จึงเกิดแรงเค้นอัดยับยั้งการขยายตัวของรอยร้าว ไม่ให้ขยายต่อไป	120
รูปที่ 5.11	แสดงพื้นผิวของกลาสส์เซรามิกหลังถูกปรับสภาพผิวด้วยกรดไฮโดรฟลูออริกแล้วล้างน้ำออก ทำให้ส่วนของแก้ว (สีม่วง) ที่พื้นผิวหายไป และส่วนโครงสร้างผลึก (สีฟ้า) ยังคงอยู่ ซึ่งทำให้เกิดความขรุขระที่พื้นผิว	124
รูปที่ 5.12	แสดงภาพถ่ายจากกล้องจุลทรรศน์อิเล็กตรอนชนิดส่องกราด ที่กำลังขยาย 10,000 เท่าของผิวเซรามิกชนิดลิเทียมไดซิลิเกต (ก) ชัดด้วยกระดาดทรายเบอร์ 400 และ (ข) ปรับสภาพผิวด้วยกรดไฮโดรฟลูออริกที่ระดับความเข้มข้นร้อยละ 5 เป็นเวลา 20 วินาทีแล้วล้างด้วยน้ำ	125
รูปที่ 5.13	แสดงภาพถ่ายของ (ก) พื้นผิวกลาสส์เซรามิกที่ยังไม่ถูกปรับสภาพผิว (ข) ถูกกัดด้วยกรดไฮโดรฟลูออริก และ (ค) หลังจากถูกกัดด้วยกรดไฮโดรฟลูออริก แล้วล้างน้ำให้สะอาด เป่าด้วยลมจนแห้ง ซึ่งจะพบลักษณะพื้นผิวที่มีสีขาวขุ่น	125
รูปที่ 5.14	แสดงแบบจำลองการเปลี่ยนโครงสร้างสารไซเลนชนิดเอ็มพีเอสหลังจากไฮโดรไลซิสด้วยน้ำหรือกรด ซึ่งทำให้หมู่เมทอกซีเปลี่ยนเป็นหมู่ไฮดรอกซิล และมีผลพลอยได้เป็นแอลกอฮอล์	128

รูปที่ 5.15 แสดงแบบจำลองการเกิดพันธะเคมีระหว่างสารไฮเลนกับเซรามิกที่มีซิลิกาเป็นองค์ประกอบหลัก	128
รูปที่ 5.16 แสดงแบบจำลองของโครงสร้างโมเลกุลไฮเลน ที่เกิดปฏิกิริยาควบแน่นกันเองและเชื่อมต่อกันเอง หลาย ๆ โมเลกุล เกิดเป็นโอลิโกเมอร์	128
รูปที่ 5.17 แสดงภาพถ่ายด้วยกล้องจุลทรรศน์อิเล็กตรอนชนิดส่องกราด ที่กำลังขยาย 500 เท่า ของผิวของเซอร์โคเนีย (ก) ก่อน และ (ข) หลัง การพ่นด้วยผงอะลูมิเนียมออกไซด์ ขนาด 50 ไมโครเมตรเป็นเวลา 20 วินาที	130
รูปที่ 5.18 แสดงแบบจำลอง ตัวอย่างสูตรโครงสร้างทางเคมี ของมอนอเมอร์ที่เป็นอนุพันธ์ของกรดฟอสฟอริก	130
รูปที่ 5.19 แสดงแบบจำลอง ลักษณะโครงสร้างพันธะเคมีระหว่างสารเทนเอ็มดีพีกับผิวของเซอร์โคเนีย 3 ลักษณะ คือ มอนอเดนเทต บริดจิงไบเดนเทต และ ฟอสเฟตส์บริดเจดแอตเซอร์โคเนีย	131

บทที่ 1

บทนำสู่พื้นฐานของวัสดุศาสตร์และวัสดุทันตกรรม

Introduction to fundamentals of materials science and dental materials

วัสดุและประเภทของวัสดุ (materials and type of materials)

วัสดุ (materials) หมายถึง สสารที่นำมาใช้ประโยชน์หรือใช้งานอย่างจงใจ วัสดุมีได้หลายรูปแบบ เช่น ผงขัดฟัน (pumice) เป็นของแข็ง วัสดุเคลือบหลุมร่องฟันเป็นของเหลว หรือ วัสดุฐานฟันเทียมอย่างนุ่ม ที่มีลักษณะเป็นวิสโคอีลาสติก (viscoelastic) คือ นิ่มยืดหยุ่น เป็นต้น เราสามารถพบวัสดุมากมายหลายชนิดอยู่รอบตัว ทั้งที่เกิดขึ้นตามธรรมชาติ อาทิเช่น ไม้ ขนสัตว์ หวาย เส้นไหม เป็นต้น หรือเป็นสิ่งที่มนุษย์ผลิตขึ้น เช่น กระดาษ พลาสติก (plastic) โลหะผสม (alloy) และ เซรามิก (ceramic) เป็นต้น หากยกตัวอย่างให้เห็นภาพของคำว่า วัสดุ จากสิ่งใกล้ตัวเรามากที่สุดคือ ไข่ไก่ ปกติไข่ไก่จัดเป็นอาหาร ส่วนเปลือกไข่ที่ทิ้งไปจะเป็นขยะ แต่ถ้าเราเอาเปลือกไข่มาตำและบดให้เป็นผงขนาดเล็ก แล้วนำผงนี้ไปอัดภาชนะหุงต้ม ผงเปลือกไข่ก็จะทำหน้าที่เป็นวัสดุขัดสี ส่วนต้นไม้ โดยปกติต้นไม้ไม่ใช่วัสดุ แต่หากเราตัดต้นไม้แล้วปล่อยให้แห้งเป็นแผ่น จากนั้นนำมาปูเป็นพื้นบ้าน แผ่นไม้ดังกล่าวก็กลายเป็น วัสดุก่อสร้าง อีกตัวอย่างหนึ่งที่เราเห็นได้ชัดเจน คือ ทองคำ ซึ่งเป็นแร่ธาตุที่เกิดขึ้นในธรรมชาติ ในอดีตมีการใช้ทองคำเปลว (gold foil) เพื่ออุดรูฟันซึ่งฟันธรรมชาติ ดังนั้นจึงเรียก ทองคำเปลวที่นำมาใช้งานอย่างจงใจเช่นนี้ว่าเป็น วัสดุบูรณะฟัน

วัสดุศาสตร์ (materials science) เป็นวิชาที่ศึกษาเกี่ยวกับวัสดุชนิดต่าง ๆ ทั้งในลักษณะโครงสร้างภายใน โครงสร้างภายนอก และสมบัติต่าง ๆ ประเภทของวัสดุพื้นฐานสามารถแบ่งออกเป็น 4 ประเภท (รูปที่ 1.1) คือ

1. วัสดุโลหะ (metallic materials) คือ วัสดุที่จัดอยู่ในกลุ่มของธาตุโลหะที่ประกอบด้วย โลหะเพียงชนิดเดียว ตัวอย่างเช่น ทองคำบริสุทธิ์ (pure gold) ดีบุก (tin) เป็นต้น หรือกลุ่มโลหะที่ประกอบด้วยธาตุโลหะมากกว่าหนึ่งชนิดขึ้นไป ซึ่งเรียกว่า กลุ่มโลหะผสม ตัวอย่างของโลหะผสมเช่น กลุ่มโลหะผสมที่มีปริมาณธาตุเหล็กสูง (ferrous metals) เช่น เหล็กกล้า (steel) และเหล็กหล่อ (cast iron) เป็นต้น และ กลุ่มโลหะผสมที่ไม่มีเหล็กเป็นองค์ประกอบ (nonferrous metals) เช่น โลหะผสมกลุ่มอะลูมิเนียม ทองแดง นิกเกิล เป็นต้น

2. วัสดุพอลิเมอร์ (polymer materials) เป็นวัสดุที่ประกอบด้วยสารอินทรีย์ ซึ่งมีธาตุคาร์บอนเป็นองค์ประกอบหลัก มีโมเลกุลเชื่อมต่อกันเป็นสายโซ่ยาว หรืออาจมีลักษณะเป็นโครงข่าย ตัวอย่างของวัสดุพอลิเมอร์ ได้แก่ ยางธรรมชาติ (natural rubber) เซลลูโลส (cellulose) พอลิเมทิลเมทาคริเลต (poly(methyl methacrylate)) และ พอลิเอทิลีน (polyethylene) เป็นต้น

3. วัสดุเซรามิก (ceramic materials) เป็นวัสดุที่ประกอบด้วยสารอนินทรีย์ ที่มีธาตุโลหะและอโลหะรวมตัวกันด้วยพันธะทางเคมี เช่น พอร์ซเลน (porcelain) แมกนีเซีย (magnesia) และ เซอร์โคเนีย (zirconia) เป็นต้น

